

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-236263

(43)Date of publication of application : 23.08.2002

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

(21)Application number : 2001-032665

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 08.02.2001

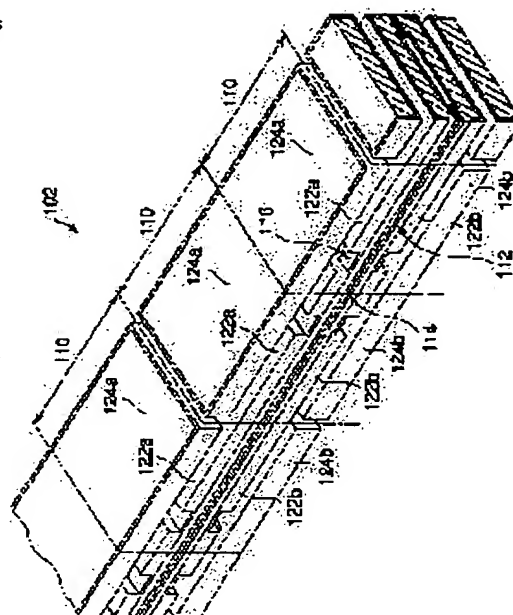
(72)Inventor : ARIMA MICHITSUGU

(54) ELECTROSTATIC ACTUATOR AND MIRROR ARRAY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electrostatic actuator which has a large movable range and can control displacement on the basis of an applied voltage.

SOLUTION: The electrostatic actuator has a movable beam 102 and a beam supporting part to support the movable beam 102 in a cantilever manner. The movable beam 102 has a plurality of serially connected unit driver elements 110. Each unit driver element 110 has a first electrode supporting part 112, a second electrode supporting part 114, and a spring part 116 which connects them. The plurality of unit driver elements 110 are alternately located in a reverse direction along a direction where the movable beam 102 is extended. The first electrode supporting part 112 includes two earth electrodes 122a and 122b, and the second electrode supporting part 114 includes two drive electrodes 124a and 124b. That is, one unit driver element 110 has a first and second pairs of earth electrodes and drive electrodes.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

520の間には、静電引力が働く。

【0010】まず、最も大きい静電引力を受けている第一の駆動電極1512がシリコン基板1502に引き寄せられ、その結果、第一の駆動電極1512は、最終的には、図64に示されるように、シリコン基板1502の表面の絶縁膜1504に全体的に接触する。

【0011】第一の駆動電極1512が絶縁膜1504に全体的に接触すると今度は、次に大きい静電引力を受けている第二の駆動電極1514が、シリコン基板1502に引き寄せられ、図65に示されるように、シリコン基板1502の表面の絶縁膜1504に全体的に接触する。その後、同様に、第三の駆動電極1516と第四の駆動電極1518が順次、シリコン基板1502に引き寄せられて、その表面の絶縁膜1504に全体的に接触する。最後に、第五の駆動電極1520が、シリコン基板1502に引き寄せられ、図66に示されるように、シリコン基板1502の表面の絶縁膜1504に全体的に接触する。

【0012】この静電アクチュエーターは、反ったパネを介して直列的に接続された複数の駆動電極を有していることにより、駆動電圧の増大を必要とすることなく、変位の拡大を達成している。

【0013】[発明が解決しようとする課題] 図62に示される静電アクチュエーターにおいては、その特性は、パネの初期の曲率に大きく影響される。パネの初期の曲率は、それを構成する二層膜の積層の残留応力差に依存するため、これを正確に制御することは難しい。

【0014】また、駆動電極とシリコン基板の間に生じる静電引力は、印加電圧に対して非線形に変化しない。また、静電引力は、印加電圧だけでなく、電極間隔にも依存している。このため、駆動電極に印加する電圧を調節することにより、静電アクチュエーターの変位量を正確に制御することは、言い換えれば、駆動電極を所望の位置に正確に配置することは難しい。このためには、位置センサー等の要素が別に必要となる。これは、コスト低減や要素の小型化を妨げる。

【0015】また、この静電アクチュエーターは、比較的大きな平坦な基板を必要とする共に、その構成上、駆動電極の移動方向は、基板に垂直な方向、それも基板に接近する一方方向に制約される。応用範囲が限定される。

【0016】本発明は、このような実状を鑑み作成されたものであり、その主な目的は、大きいストローク（可動範囲）を有し、変位の正確な制御が容易に達成可能な静電アクチュエーターを提供することである。

【0017】

【課題を解決するための手段】 本発明は、ひとつには、静電引力により駆動される静電アクチュエーターであり、可動ビームと、可動ビームを片持ちに支持するビーム支

持部とを有しており、可動ビームは、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を接続するパネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している。

【0018】本発明は、また、静電引力により駆動されるミラアレイであり、複数の可動ビームと、複数の可動ビームを片持ちに支持するビーム支持部と、可動ビームの各々の自由端部に設けられた複数のミラーとを有しており、可動ビームの各々は、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を接続するパネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している。

【0019】

【発明の実施の形態】 以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について説明する。まず最初に、本発明のひとつの側面である静電アクチュエーターについて説明する。

【0020】[第一の実施の形態] 本発明の第一の実施の形態である静電アクチュエーターについて図面を参照しながら説明する。

【0021】図1に示されるように、第一の実施の形態の静電アクチュエーター100は、可動ビーム102と、可動ビーム102を片持ちに支持するビーム支持部104とを有している。

【0022】可動ビーム102は、図2に模式的に示されるように、直列的に接続された複数の単位駆動素子110を有している。単位駆動素子110の各々は、第一の電極支持部112と、第二の電極支持部114と、これら一対の電極支持部112、114を接続するパネ部116とを有している。複数の単位駆動素子110は、可動ビーム102の延びる方向に沿って、交互に逆向きで並んでいる。パネ部116は、可動ビーム102の延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみパネである。

【0023】第一の電極支持部112は、図3と図4に詳しく示されるように、二つの接地電極122a、122bを含んでおり、第二の電極支持部114は、二つの駆動電極124a、124bを含んでいる。つまり、ひたつきの単位駆動素子110は、パネ部116のたわみ得る方向に置いて向き合っている接地電極122aと駆動電極124aの第一の対と、パネ部116のたわみ得る方向に間隔をおいて向き合っている接地電極122bと駆動電極124bの第二の対を有している。

【0024】図4に示されるように、第一の接地電極122aは、シリコン基板132と、その第一の駆動電極124aと向き合う面を覆う絶縁層である酸化シリコン層134と、その反対側の面を覆う絶縁層である酸化シリコン層136を有している。また、第一の駆動電極12

4aは、シリコン層142と、その第一の接地電極122aと向き合う面を覆う絶縁層である酸化シリコン層144とを有している。第二の接地電極122bと第二の駆動電極124bも同様の構造を有している。

【0025】シリコン132と酸化シリコン層134と酸化シリコン層136は、第一の電極支持部112の一部を構成するとともに、パネ部116の一部と、第二の電極支持部114の一部を構成している。シリコン層132は肉厚部を有しており、この部分がパネ部116の一部を構成している。隣接する二つの単位駆動素子110のシリコン層132の肉厚部に挟まれた部分は、第二の電極支持部114の一部を構成している。

【0026】また、シリコン層142と酸化シリコン層144は、第二の電極支持部114の一部を構成している。シリコン層142は凸部を有しており、この凸部は酸化シリコン層144、144を挟んでシリコン層132に接合されている。第一の接地電極122aの主材料であるシリコン132と、第一の駆動電極124aの主材料であるシリコン142は、それぞれを覆っている絶縁層134と絶縁層144によって、互いに電気的に絶縁されている。

【0027】隣接する二つの単位駆動素子の駆動電極124aは、コンタクトホール146を介して、共通の配線148と電気的に接続されている。同様に、隣接する二つの単位駆動素子の駆動電極124bは、コンタクトホール146を介して、共通の配線148と電気的に接続されている。配線148は、酸化シリコン層136の上を延びている。

【0028】図6に示されるように、ビーム支持部104は、その内部に複数の給電パッド152を有しており、給電パッド152の各々は、対応する配線148を介して、隣接する二つの単位駆動素子の駆動電極124aと124bのいずれかに電気的に接続されている。また、ビーム支持部104は、一対の給電パッド154（図にはその一つのみ示されている）を有しており、給電パッド154の各々は接地電極122aと122bのいずれかに電気的に接続されている。

【0029】図5に示されるように、ビーム支持部104は、駆動電極124aと124b用の給電パッド152と外部配線との電気的接続のための複数の開口156を有している。複数の開口156は、図5に見え、図5に位置するたわみ部158には見えない。また接地電極122aと122b用の給電パッド154と外部との電気的接続のための一対の開口158を有している。開口158は、図5に見え、図5に位置するたわみ部158には見えない。また接地電極122aと122b用の給電パッド154と外部との電気的接続のための一対の開口158を有している。開口158は、図5に見え、図5に位置するたわみ部158には見えない。

【0030】図7は、本実施の形態の静電アクチュエーター100の動作を説明する図である。上述した静電アクチュエーター100において、接地電極122aと1

22bと下側の第二の駆動電極124bを接地電位に保った状態で、上側の第一の駆動電極124aに電圧を印加すると、接地電極122aがパネ部116を支点とし、静電引力によって上側の第一の駆動電極124aに引き寄せられるため、図7に示されるように、可動ビーム102が全体的に上側に反る。

【0031】これとは逆に、上側の第一の駆動電極124aを接地電位に保ち、下側の第二の駆動電極124bに電圧を印加すると、可動ビーム102が全体的に下側に反る。

【0032】さらに、前述したように、直列的に並んでいる単位駆動素子110の駆動電極124aと124bは、隣接する二つは電気的に接続されているが、二つずつ単位で互いに電気的に分離されている。従って、隣接する二つの単位駆動素子110毎に、駆動電極124aと124bに印加する電圧を独立に制御することができ、これにより、可動ビーム102の任意の位置にある隣接する二つの単位駆動素子110を変位させることができるので、可動ビーム102の全体の変位量を、電圧を印加する駆動電極124aと124bの個数を変えることにより、小刻みに制御することができ、

【0033】図8～図17は、本実施の形態の静電アクチュエーター100の可動ビームの製造工程を示す材料図である。以下、図8～図17を参照しながら、本実施の形態の静電アクチュエーター100の可動ビーム102の製造方法について説明する。

【0034】まず、図8に示すように、SOI (Silicon on Insulator) 基板を用意し、その活性層をフォトリソスト（図示せず）等をマスクとしてRIE (Reactive Ion Etching) やICP (Inductively Coupled Plasma) エッチングによって2回選択的に除去することにより、駆動電極202及び接合部204を形成する。ここで206および208は、それぞれSOI基板の支持層および埋め込み酸化膜である。

【0035】次に別のSOI基板を用意し、その活性層を図8と同様の方法で選択的に除去することにより、図9に示すように、接地電極212及び電極ポスト214を形成する。ここで216および218は、それぞれSOI基板の支持層および埋め込み酸化膜である。

【0036】次に図10に示すように、図8および図9の工程で加工した基板の表面に熱酸化膜222、224をそれぞれ形成した後、図8における接合部204が、図9における電極ポスト214に接触するよう位置合わせを行い、両者の基板を接合する。

【0037】次に支持層216をTMAH (Tetramethyl ammonium hydroxide) 等により除去した後、埋め込み酸化膜218をRIEによって除去する。さらに図11に示すように基板のシリコン層を、フォトリソ236をマスクとしてRIEによって一部除去することにより、配線層238を形成する。

【0038】次にフオトリジスト236を除去した後、熱酸化を行い、新たに形成された熱酸化膜の一部をフオトリジストをマスクとしてパツクアードフツン膜またはR1Eによって除去することにより、酸化膜マスキ（図示せず）を形成する。次にこの酸化膜マスキを介して、下層のシリコンをTMAHによって除去することにより、図12に示される凹部242を形成する。次に酸化膜マスキを除去した後、再度熱酸化を行い、図12に示される酸化シリコン膜244を形成する。さらに酸化シリコン膜244の一部をフオトリジストを介してR1Eによって除去することにより、コンタクトホール246を形成する。ここで、コンタクトホール246の形成と同時に、図中に248で示される部分の酸化シリコン膜を除去しておく。

【0039】次にフオトリジストを除去した後、イオン注入等の方法によってドーパントをコンタクトホール246下層のシリコン層に拡散することにより、この部分に高濃度のドーパント拡散層を形成する。

【0040】さらに図13に示すように、アルミニウム等の導電膜をスパツクリング法等の方法によって成膜した後、この導電膜の一部をフオトリジスト等を介して除去することにより、配線252を形成する。

【0041】次に図14に示すように、酸化シリコン膜244をマスクとして、シリコンをICPエツチング法によって除去することにより、接地電極212および電極パッド214を基板上に分離するとともに、パネ部254を形成する。さらに埋め込み酸化膜208が露出している部分のうち面積の広い箇所に、ポリイミド膜256をスクリー印刷法等の方法により成膜する。

【0042】次に図15に示すように、図14の工程で形成される導電膜を二枚、各々の構造が接合面に対してミラー対称になるよう位置合わせを行った後、両者を接合する。この接合は、構造印に使用している配線材の融点やポリイミドの熱分解温度より低い温度で行う。さらに図中に示される支持層206を除去する。

【0043】支持層206の除去は、アツチエーターの形成されている空間258を停止した状態で、TMAH等を使用して行なう。支持層206が完全に除去されると、TMAHの液圧が埋め込み酸化膜208に作用すると、TMAHの液圧が埋め込み酸化膜208に作用すると、この部分は図14の工程で形成したポリイミド膜256によって補強されているため、埋め込み酸化膜208の液圧による破壊が防止される。

【0044】最後に埋め込み酸化膜208及びポリイミド膜256を、R1Eによって除去することにより、図3と図4に示される可動ビーム102が完成する。なお配線の信頼性向上のため、配線252の表面にシリコン酸化膜等をP-CVD (Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition) 法により形成してもよい。

【0045】本発明の実施の形態の静電アツチエーターは、同一の二枚の構造体を張り合わせて作製されるた

めに、図4に示されるように、配線148が絶縁膜の上層と下層に形成されるので、図6に示されるように、給電パッド152はビーム支持層104の上層と下層の両方に形成される。

【0046】図16と図17は、それぞれ、図13の工程と図15の工程に対応する、ビーム支持層の製造工程を示す斜視図である。

【0047】図16は、図13に示す工程が終了した時点における給電パッド付近の構造を示している。支持層262は、図8の工程において形成される駆動電極202及び接点部204と同時に形成される。また、支持層264は、図9の工程において形成される接地電極212及び電極パッド214と同時に形成される。また開口部266は、支持層262及び支持層264を形成する工程において、同時に形成される。さらに給電パッド268、272は、図13の工程で形成される配線252と同時に形成され、コンタクトホール270は、図12の工程で形成されるコンタクトホール246と同時に形成される。また、給電パッド272は、コンタクトホール270を介して支持層264に接続される。また支持層264のうち給電パッド272に接する部分には、高濃度のドーパント拡散層（図示せず）が形成されている。

【0048】次に図17に示すように、埋め込み酸化膜208が露出している部分のうち面積の広い箇所にポリイミド膜256を成膜した後、図16の工程を経て形成される構造体を二枚接合する。接合される二枚の構造体は、給電パッド268、272と開口部266の位置が異なっており、一方の構造体の給電パッドと開口部がそれぞれ他方の構造体の開口部と給電パッドと向き合うように配置されている。

【0049】次に支持層206を除去する。この工程において、図17に示される下層の構造体の支持層206をマスク274を介して除去することにより、図5に示される駆動電極160が形成される。マスク274は、工程の途中で基板の裏面に形成される熱酸化膜をパターンニングして使用する。さらに埋め込み酸化膜208、ポリイミド膜256を除去することにより、パッド周辺の構造が完成する。

【0050】本実施の形態の静電アツチエーターは、様々な変形や変更が可能である。

【0051】上述した実施の形態の静電アツチエーターでは、可動ビームを上層方向に変位させるために、各単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向（別の言い方をすればビームの軸）の両側に対称的に、接地電極と駆動電極の対をひとつずつ有しているが、上層方向は下層の一方への変位が要求される場合には、各単位駆動素子は、一方の接地電極と駆動電極を、可動ビームの延びる方向（別の言い方をすればビームの軸）の片側に有してさすればよい。このような構造体は、具体的に

という用路は、可動ビーム302が無変位の状態において、可動ビーム302の延びている方向に平行で、可動ビーム302の中心を通る仮想的な線を含むものとす。また、「上下方向」という用路は、可動ビーム302の軸に直交する一方を言い、「左右方向」という用路は、可動ビーム302の軸に直交するもう一方を言うものとする。

【0052】図21には、複数の単位駆動素子310と一つの単位駆動素子350と複数の単位駆動素子330とを有しているが、それらの個数はこれに限定されるものではなく、任意の個数の組み合わせであってよい。また、可動ビーム302は、必ずしも三箇所の単位駆動素子310、330、350の全てを含んでいる必要はない。また、可動ビーム302の軸に直交するもう一方を言うものとする。

【0053】上述した実施の形態の静電アツチエーターでは、図2に示すように、可動ビームの延びる方向に沿って、交互に逆向きで延びているが、単位駆動素子の配列はこれに限定されず、直列的に並んでしえすればよい。例えば、図19に示されるように、さらに図20に分り易く模式的に示されるように、複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、同じ向きで並んでいてもよい。このような可動ビームは、図9に示される工程において、エツチングのパターンを変える点を除いては、本実施の形態と同様の手法によって作製される。

【0054】本実施の形態の静電アツチエーターは、可動ビームが直列的に接続された複数の単位駆動素子を有していることにより、接地電極と駆動電極の間隔を増大させることなく、アツチエーターの変位量の増大と、十分な駆動力の確保とを同時に達成している。また、単位駆動素子を隣接する二つ毎に独立に制御できるので、アツチエーターの変位を細かく制御することが可能である（もちろん、単位駆動素子をひとつずつ独立に制御するような変形も可能である）。この制御は、駆動電極に電圧を印加する単位駆動素子の個数を変更することで行なわれるので、D/A変換を行なうことなく、デジタル回路により直接制御することができ。

【0055】[第二の実施の形態] 本発明の第二の実施の形態である静電アツチエーターの可動ビームについて図面を参照しながら説明する。第二の実施の形態の静電アツチエーターの構造を図21に示す。

【0056】図21に示されるように、可動ビーム302は、直列的に接続されている三箇所の単位駆動素子310、330、350を有している。第一の単位駆動素子310は上下方向にたわみ変位し得、第二の単位駆動素子330は左右方向にたわみ変位し得、第三の単位駆動素子350は、可動ビーム302の軸を中心に左右回りにねじれ変位し得る。

【0057】ここにおいて、「可動ビーム302の軸」は、具体的に

【0058】次に図14に示されるように、配線148が絶縁膜の上層と下層に形成されるので、図6に示されるように、給電パッド152はビーム支持層104の上層と下層の両方に形成される。

【0059】上述した実施の形態の静電アツチエーターでは、図2に示すように、可動ビームの延びる方向に沿って、交互に逆向きで延びているが、単位駆動素子の配列はこれに限定されず、直列的に並んでしえすればよい。例えば、図19に示されるように、さらに図20に分り易く模式的に示されるように、複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、同じ向きで並んでいてもよい。このような可動ビームは、図9に示される工程において、エツチングのパターンを変える点を除いては、本実施の形態と同様の手法によって作製される。

【0060】第一の電極支持層312は、二つの接地電極322a、322bを有しており、第二の電極支持層314は、二つの駆動電極324a、324bを有している。すなわち、第一の単位駆動素子310は、接地電極と駆動電極の対を二つ、すなわち、接地電極322aと駆動電極324aの第一の対と、接地電極322bと駆動電極324bの第二の対とを有している。

【0061】接地電極322a、322bと駆動電極324a、324bは共に複数の値を有する線形電極であり、それぞれの対を成している線形電極は、一方の値が他方の値の隅に入り込んでおり、各対の線形電極の値は共に可動ビーム302の延びる方向に沿って延びている。

【0062】第一の対の線形電極（すなわち接地電極322aと駆動電極324a）は、可動ビーム302の軸から、パネ部316がたわみ得る方向に外れて位置している。同様に、第二の対の線形電極（すなわち接地電極322bと駆動電極324b）は、可動ビーム302の軸から、パネ部316がたわみ得る方向に外れて位置している。さらに、第一の対の線形電極（すなわち接地電極322aと駆動電極324a）と第二の対の線形電極（すなわち接地電極322bと駆動電極324b）は、可動ビーム302の軸に対して面対称に位置している。

【0063】第一の単位駆動素子310の動作について図28を参照して説明する。図28は、複数の第一の単位駆動素子310が直列的に接続された構造体を横から見た図である。図28において、接地電極322a、3

12

一ム302の延びる方向に沿って延びている。

【0070】第一の対の接地電極（すなわち接地電極342aと駆動電極344a）と第二の対の接地電極（すなわち接地電極342bと駆動電極344b）は共に、可動ビーム302の軸から、パネ部336がたわみ得る方向に外れに位置している。さらに、第一の対の接地電極と第二の対の接地電極は、可動ビーム302の軸を通り、パネ部336がたわみ得る方向に平行な平面に対して面対称に位置している。

【0071】同様に、第三の対の接地電極（すなわち接地電極342cと駆動電極344c）と第四の対の接地電極（すなわち接地電極342dと駆動電極344d）は共に、可動ビーム302の軸から、パネ部336がたわみ得る方向に外れに位置している。さらに、第三の対の接地電極と第四の対の接地電極は、可動ビーム302の軸を通り、パネ部336がたわみ得る方向に平行な平面に対して面対称に位置している。

【0072】加えて、第一の対と第二の対の接地電極と、第三の対と第四の対の接地電極とは、可動ビーム302の軸を通り、パネ部336がたわみ得る方向に直交する平面に対して面対称に位置している。

【0073】第二の単位駆動素子330の動作について図29を参照して説明する。図29は、複数の第二の単位駆動素子330が直列的に接続された構造体を上から見た図である。図29において、接地電極342a、342b、342c、342dおよび左側の駆動電極344a、344bを接地電極に保った状態で、右側の駆動電極344c、344dに電圧を印加すると、接地電極342c、342dと右側の駆動電極344c、344dが静電引力によって互いに引き寄せられ、パネ部336がたわみ変形を起こす。その結果、図29に示される構造体（つまり可動ビームの一部）は右方向に反る。

【0074】これとは反対に、接地電極342a、342b、342c、342dおよび右側の駆動電極344c、344dを接地電極に保った状態で、左側の駆動電極344a、344bに電圧を印加すれば、図28に示される構造体（つまり可動ビームの一部）は左方向に反る。

【0075】また、駆動電圧に電圧を印加する単位駆動素子330の個数を制御することにより、図29に示される構造体（つまり可動ビームの一部）の反る量つまり変位量を細かく制御することができる。さらに、適当な単位駆動素子330に対しては左側の駆動電極344a、344bに電圧を印加するとともに、その以外のうちの適当な単位駆動素子330に対して右側の駆動電極344c、344dに電圧を印加することにより、図29に示される構造体（つまり可動ビームの一部）を左右方向に複雑な形状に変形させることもできる。

【0076】図24と図25に示される第二の単位駆動素子330は、左方向と右方向の両方向への移動のため

に、可動ビーム302の軸から対称的に外れて配置され、第一と第二の対の接地電極と駆動電極および第三と第二の対の接地電極と駆動電極を有しているが、左方向または右方向のいずれか一方への移動のみが要求される用途に対しては、第一の単位駆動素子330は、可動ビーム302の軸から外れに配置された一対の接地電極と駆動電極を有してよい。

【0066】図22と図23に示される第一の単位駆動素子330は、上方向と下方向の両方向への移動のために、可動ビーム302の軸から対称的に外れて配置された二対の接地電極と駆動電極を有しているが、上方向または下方向のいずれか一方への移動のみが要求される用途に対しては、第一の単位駆動素子330は、可動ビーム302の軸から外れに配置された一対の接地電極と駆動電極を有してよい。

【0067】第二の単位駆動素子330は、図24と図25に示されるように、第一の電極支持部332と第二の電極支持部334と、第一の電極支持部332と第二の電極支持部334を連結しているパネ部336とを有している。パネ部336は、可動ビーム302の軸に直交する左右方向にたわみ得るたわみバネである。

【0068】第一の電極支持部332は、四つの接地電極342a、342b、342c、342dを有してお

り、第二の電極支持部334は、四つの駆動電極344a、344b、344c、344dを有している。すな

わち、第二の単位駆動素子330は、接地電極と駆動電極の対を四つ、すなわち、接地電極342aと駆動電極344aの第一の対と、接地電極342bと駆動電極344bの第二の対と、接地電極342cと駆動電極344cの第三の対と、接地電極342dと駆動電極344dの第四の対とを有している。

【0069】接地電極342a、342b、342c、342dと駆動電極344a、344b、344c、344dは共に複数の歯を有する歯形電極であり、それぞ

れの対を成している歯形電極は、一方の歯が他方の歯の間に入り込んでおり、各対の歯形電極の歯は共に可動ビ

14

第一の電極支持部352に接続されている構造体は、第二の電極支持部354に接続されている構造体に対し、右回りにねじれる。

【0082】これとは反対に、接地電極362a、362b、362c、362dおよび駆動電極364a、364b、364cを接地電極に保った状態で、駆動電極364b、364cに電圧を印加すれば、第一の電極支持部352は第二の電極支持部354に対して左回りにねじれる。

【0083】図26と図27に示される第三の単位駆動素子350は、左回りと右回りの両方向への回転のため、可動ビーム302の軸に対して軸対称に配置された第一と第四の対の接地電極と駆動電極および第二と第三の対の接地電極と駆動電極を有しているが、左回または右回りのいずれか一方への回転のみが要求される用途においては、第三の単位駆動素子350は、可動ビーム302の軸に対して軸対称に配置された二対（例えば第一と第四の対）の接地電極と駆動電極を有してよい。

【0084】第一ないし第三の単位駆動素子330、330、350の第一の電極支持部312、332、352は、それに隣接する第一ないし第三の単位駆動素子310、330、350の第二の電極支持部314、334、354と連結されている。このようにして複数の単位駆動素子が直列的に接続される構造体（すなわち可動ビーム302）は、後述するように、半導体製造プロセスを適用して、シリコン基板から作製される。

【0085】図22～図27に示される第一ないし第三の単位駆動素子の各々において、第一の電極支持部と第二の電極支持部とパネ部と接地電極と駆動電極は共に主にシリコンで構成されている。駆動電極は酸化シリコン膜によって第二の電極支持部から電気的に絶縁されている。また接地電極も酸化シリコン膜によって第一の電極支持部から電気的に絶縁されている。

【0086】各単位駆動素子310、330、350は、図22～図27に示されるように、第一の電極支持部と第二の電極支持部とパネ部の内部を通る配線層318、338、358を有している。配線層318、338、358は、酸化シリコン膜によって、第一の電極支持部と第二の電極支持部とパネ部から電気的に絶縁されている。

【0087】また、各単位駆動素子は、図22～図27には図示されていないが、第一の電極支持部と第二の電極支持部の内部に形成されたCMOS回路を有している。駆動電極はそれぞれコンタクトホールを介してCMOS回路と電気的に接続されている。また、隣接する単位駆動素子の内部のCMOS回路同士は、配線層内に延びる配線を介して互いに電気的に接続されている。また、隣接する単位駆動素子の接地電極は、配線層内に延びる配線を介して互いに電気的に接続されている。

【0088】さらに、本装置の形態の静電アクチュエー

タ

タ

タ

タ

タ

タ

タ

おいても、これまでの製造方法の説明から分るように、配線が配線溝内面の上と下面に形成されている内部、ビーム支持部は、第一の実施の形態と同様に、その内部に形成される給電パッドへの電気的接続のための開口部が上面と下面に形成されている。

[0115] 本実施の形態による静電アクチュエータは、可動ビームが直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しているもので、可動ビームを十分な駆動力で大きく変位させることができる。また、単位駆動素子がひとつずつ独立に駆動可能であるので、可動ビームの仕様の部分を変形させることができる。駆動する単位駆動素子の個数を変更することにより、可動ビームの全体の変位量を、D/A変換を行なうことなく、デジタル回路により直接制御することができる。

[0116] また、可動ビームは、複数の種類の単位駆動素子を含んでいるため、本実施の形態による静電アクチュエータは、複数の種類の単位駆動素子、例えば、上下方向や左右方向への反り、ねじれの変位を発生し得る。このため、マイクロアクチュエータ、カプセル、光スイッチ、各種な用途への応用が可能である。

[0117] [ミラーアレイ] 続いて、本発明の別の側面であるミラーアレイについて説明する。概く説明で、最初に、ミラーアレイの背景について述べ、その後で、ミラーアレイの具体的な実施の形態について述べる。

[0118] 特開平6-207853号には、静電により駆動するミラーアレイを利用した小型の分光装置が開示されている。この分光装置は、図53に示すように、スリット1102と、コレクター1104と、プリズム1106と、空間光変調器1108とを有している。

[0119] 図53において、スリット1102を透過した光は、コレクター1104によって平行光に変換され、プリズム1106によって分光された後、空間光変調器1108に入射する。ここでプリズム1106によって分光された光は、入射光に含まれる光の波長毎に固有の角度に方向付けられるので、互いに波長の異なる光成分は、空間光変調器1108上の異なる位置に入射する。従って、空間光変調器1108によって、特定の位置に入射した光のみを集光ミラー1110に向けて出力することにより、ピンホール1102に入射した光から特定の波長の光のみを抽出器1112で抽出することができ。

[0120] 空間光変調器1108としては、ミラーレイ、シャッターアレイ、フィルタアレイ等がある。このうちミラーアレイは、損失が小さく、異なる位置に入射した複数の光を異なる方向に同時に出力できるという長所を有している。このミラーアレイを使用した空間光変調器の一つとして、DMD (Digital Micromir

ror Device) が特開2000-28937号等に開示されている。

[0121] DMDは、図54に示すように、駆動電極1202と、接地電極1204と、トーションバースト1206と、トーションバースト1208と、ミラーバースト1210と、ミラー1212とを有している。

[0122] 接地電極1204は、導電性の弾性体から成る一対のトーションバースト1208によって、偏角可能に支持されている。トーションバースト1208は、導電性の一対のトーションバースト1206によって支持されており、接地電極1204は、トーションバースト1208とトーションバースト1206を介して設置電極に接続される。また、接地電極1204にはミラーバースト1210が取り付けられており、ミラーバースト1210にはミラー1212が固定されている。駆動電極1202は、接地電極1204に対して互いに対称な位置に一枚ずつ配置されて互いに反対向に傾斜している。

[0123] DMDにおいて、図55に示すように、接地電極1204および一方の駆動電極1202aを接地した状態で、他方の駆動電極1202bに電圧1220により電圧を印加すると、接地電極1204と駆動電極1202bの表面に互いに逆方向に電圧1224、1222が誘起され、電荷1224と電荷1222の間に作用する静電力により、接地電極1204の片面が駆動電極1202bの方向に引き寄せられる。このためミラーバースト1210を介して接地電極1204に固定されたミラー1212が偏角し、ミラー1212によって反射される光の方向が変化する。

[0124] ミラー1212は、図54に示されるように、二次元的に配列されており、このうち特定のミラー1212を、図53中の分光器1106を透過した光束の光のみを選択的に検出できる。

[0125] 図53中の分光器1106を透過した光束は、空間光変調器1108の表面において、図56に示すように長径1232および短径1234を有する長円状の領域1236に投影される。ここで、領域1236に投影された光のうち波長の異なる成分は、領域1236の長径方向に分離されるため、長径方向が図56のX方向におけるミラーの位置が、空間光変調器から出力される光の波長に対応する。

[0126] 図53において、空間光変調器1108から集光ミラー1110の方向に出力される光には、所望の波長の光以外に、図56において、隣接するミラー1212の端面1242からの散乱光が混入して含まれる。この散乱光は、検出信号のS/N比を劣化させる。[0127] この不具合は、図57に示すように、一方

向に長い短冊状のミラーを直線状に並べることにより短

短される。すなわち、図57に示すように、空間光変調器のミラーを、一方の辺の長さが領域1236の短径より長いミラー1252に変更することにより、隣接するミラーの端面からの散乱光はY方向に反った端面1256からの散乱光のみとなり、X方向に当たった端面1254からの散乱光が消失するため、散乱光が低減される。

[0128] このような空間光変調器においては、図57のY方向を軸として、ミラー1252を偏角させることにより、ミラー1252からの反射光の一部が隣接するミラー1252に遮られるため、信号強度が低下する。従って、ミラー1252は、図56のX方向を軸として、偏角させることが望ましい。

[0129] そのため駆動機構すなわちDMDは、図58に示すように、ミラー1252と駆動電極1262と接地電極1264が、ミラー偏角軸に直交する方向に比較的に長い寸法を持つようになる。ミラー1252は、接地電極1264の端面と駆動電極1262が接触する角度より大きい角度には偏角できない。このため、図58の駆動機構は、図54の駆動機構と比較した場合、駆動電極と接地電極の間の距離が同じであれば、その偏角角は小さくなる。このため、図53の分光装置においては、空間光変調器1108と、集光ミラー1110や抽出器1112との距離を長くしなければならず、これは、所望な光学的寸法の増大を招く。

[0130] また、図58の駆動機構において、ミラー1252の大きい偏角角を得るには、駆動電極1262と接地電極1264の間の距離を大きくすればよいが、両者の電極間に作用する静電引力は電極間の二重に比例して減少するため、駆動電極1262と接地電極1264の間の距離を増大した場合、十分なミラー1252の駆動力を確保できなくなる。

[0131] 電極間に作用する静電力は印加電圧の二乗に比例するため、駆動電極1262と接地電極1264の間に印加する電圧を増大させることにより、前述の電極間の増大による静電引力の低下を補うことが可能だが、電圧には、各電極間または電極に接続される層間の静電耐圧により制限される上限が存在するため、印加電圧を無制限に増大させることはできない。

[0132] さらに特開平6-207853に開示されている走査型顕微鏡のように、波長の異なる複数の光を同時に検出した場合には、図59に示すように、空間光変調器1302は、これに対して異なる方向に配置された複数の検出器1304、1306、1308のいずれかひとつに対して、光束を方向付ける必要がある。しかし、DMDにおいては、駆動電極と接地電極間に作用する静電引力は印加電圧に対してリニアに変化せず、また静電引力は印加電圧だけでなく電極間隔にも依存するため、ミラーの角度を複数の異なる一定値のいずれかひとつに正確に制御することは極めて困難である。

[0133] 本発明のミラーアレイは、上述した本発明

の静電アクチュエータを利用することにより、このような技術的な困難を克服したものであり、ミラーの角度を複数の異なる一定値のいずれかひとつに正確に制御することができる。以下、本発明のもうひとつの側面であるミラーアレイの実施の形態について説明する。

[0134] [第三の実施の形態] 本発明の第三の実施の形態であるミラーアレイについて図面を参照しながら説明する。

[0135] 図42に示されるように、本実施の形態のミラーアレイは、複数の可動ビーム602と、複数の可動ビーム602を片持ちに支持するビーム支持部604と、可動ビーム602の各々の自由端部に設けられた複数のミラー606とを有している。ミラー606は、可動ビーム602の軸に沿って細長い短冊形状を有している。

[0136] 可動ビーム602の各々は、図43に示されるように、直列的に接続された複数の単位駆動素子610を有している。単位駆動素子610の各々は、第一の電極支持部612と、第二の電極支持部614と、これら一対の電極支持部612、614を連結するバネ部616とを有している。複数の単位駆動素子610は、可動ビーム602の軸に沿って、交互に逆方向で並んでいる。バネ部616は、可動ビーム602の軸に直交する方向にたわみ得るたわみバネである。

[0137] 第一の電極支持部612は、二つの接地電極622a、622bを含んでおり、第二の電極支持部614は、二つの駆動電極624a、駆動電極624bを含んでいる。つまり、ひとつの単位駆動素子610は、バネ部616のたわみ方向に互いに向き合っている接地電極622aと駆動電極624aの第一の対と、バネ部616のたわみ得る方向に間隔をおいて向き合っている接地電極622bと駆動電極624bの第二の対を有している。

[0138] この単位駆動素子610は、第一の実施の形態の単位駆動素子110と実質的に同じものである。[0139] 可動ビーム602は、その軸に沿って内部を延びる配線溝632を有しており、各単位駆動素子610の駆動電極624a、624bおよび接地電極622a、622bは、コンタクトホールを介して、配線溝632の中を延びる配線溝634と電気的に接続されている。

[0140] ビーム支持部604は、その内部に、一本の可動ビーム602に対して一つのCMOS回路640を有している。CMOS回路640は、配線溝634を介して、駆動電極624a、624bと電気的に接続されている。CMOS回路640は、ビーム支持部604に形成された配線溝642の中を延びる配線溝644を介して、隣接するCMOS回路と電気的に接続されている。

[0141] CMOS回路640は、可動ビーム602の任意の単位駆動素子610の駆動電極624a、62

4 b)に選択的に電圧を与えるための回路であり、これは、第二の実施の形態において図31を参照して説明したCMOS回路と同じものである。

【0142】このような本実施の形態のミラーアレイ600では、第一の実施の形態の説明から容易に理解できるように、可動ビーム602は、単位駆動素子610の駆動電圧624a、624bへの電圧の印加に応じて上下方向に反り、その結果、可動ビーム602の自由端部に設けられているミラー606の角度が変わる。さらに、可動ビーム602の変位量すなわちミラー606の角度変位は、電圧を印加する単位駆動素子610の個数や位置を変更することにより、細かく制御ができる。

【0143】本実施の形態のミラーアレイ600は、半導体製造プロセスを適用して、シリコン基板から作製される。その製造方法は、第一の実施の形態の静電アクチュエータの製造方法と似ており、以下、図44～図49を参照しながら、簡単に説明する。図44～図49には、可動ビーム602の先端の先端の一つの単位駆動素子とミラーが描かれている。

【0144】まず図44に示すように、活性層と支持層704と埋め込み酸化膜706を有するSOI基板を用意し、その活性層を、フォトリソット（図示せず）等をマスクとしてR1EやICPエッチングによって凹部形状に除去することにより、駆動電極712とそこから突出している接合部714を形成する。

【0145】駆動電極712と接合部714は、形成する可動ビームの延びる方向に沿って複数形成され、さらに、一本の可動ビームに対応する複数の駆動電極712と接合部714の組は、形成する隣接して延びる複数の可動ビーム1に対応して、互いに隣接して複数並べられて形成される。

【0146】次に、同様に活性層722と支持層724と埋め込み酸化膜726を有する別のSOI基板を用意し、その活性層722を、図44の工程と同様の方法により、選択的に除去することにより、図45に示すように、接地電極732と電極ポスト734と可動板736を形成する。活性層722のエッチングは、埋め込み酸化膜726が露出する前で行って、接地電極732と電極ポスト734の間に露る薄い活性層722を残す。

【0147】接地電極732と電極ポスト734は、形成する可動ビームの延びる方向に沿って複数形成され、さらに、一本の可動ビームに対応する複数の駆動電極712と接合部714の組と可動板736は、形成する隣接して延びる複数の可動ビーム1に対応して、互いに隣接して複数並べられて形成される。

【0148】図44と図45の工程において使用するSOI基板の活性層には、初期膜厚度が10～28nm（ma (OLD ASTM) の範囲のものを使用する）とい、これは、第二の実施の形態に関連して説明したように、MO Sトランジスタを形成する際の加熱処理による格子間隙

形成の低下を抑えて、シリコンの機械強度を確保するためである。

【0149】次に、図44の工程で作製された構造体の表面に熱酸化膜742を形成し、同様に図45の工程で作製された構造体の表面に熱酸化膜744を形成した後、図46に示すように、接合部714と電極ポスト734を接続させて、両者を互いに接合する。

【0150】次に支持層724をTMAH等により除去した後、埋め込み酸化膜726をR1Eによって除去する。さらに、シリコンを選択的にエッチング加工して、図47に示すように、配線層752と凹部754を形成した後、酸化シリコン膜756を形成した後、形成する可動ビームの間に相当する部分を選択的に除去する。

【0151】次に、支持部を形成する領域に、ウエル形成、ゲート酸化、フィードバック、ソースドレイン形成等を順次行ない、CMOS回路を形成する。次に、CMOS回路の各端子および凹部754の底部に、コンタクトホールを形成する。さらにスパッタリング法等によってアルミニウム等の導体膜を形成した後、この導体膜の一部をフォトリソット等を介して除去することにより、図48に示されるように、駆動電極に接続される配線752およびCMOS回路に接続される配線（図示せず）を形成する。さらに必要に応じて層間絶縁膜を形成する。

【0152】さらに、酸化シリコン膜756をマスクにして、露出しているシリコンをICPエッチング法によって除去することにより、隣接する接地電極732と電極ポスト734と可動板736を互いに切り離す。

【0153】図48の工程で作成された構造体を二つ用意し、これら二つの構造体を、酸化シリコン膜756の面を向かい合わせ、接合面に対して両者がミラー対称となるように位置合わせして互いに接合する。この接合は、構造体を使用している記録材の熔点よりも低い温度で行なう。さらに支持層704および埋め込み酸化膜706を除去する。これにより、図49に示されるように、互いに隣接して延びている複数の可動ビーム602を有する構造体が得られる。

【0154】支持層704を除去する工程に関して、一方の支持層704について、その前工程で形成される酸化シリコン膜を部分的に剥して置き、これをマスクに支持層704をエッチングすることにより、図43に示されるアクチュエータ支持層764を同時に形成する。

【0155】最後に、可動板736の表面に対して選択的に金属膜を形成して反材面764を形成する。その結果、図49に示されるように、隣接して延びる複数の可動ビーム602を有し、その各々の自由端からミラー606が連続して延びている構造体すなわちミラーアレイが得られる。

【0156】なお、配線層752の表面荒れにより、後工程で形成するCMOS回路の特性に影響を及ぼす層

合は、図45の工程において、スタートウエハとして、三層のシリコンと二層の埋め込み酸化膜を有するSOI基板を使用することにより、埋め込み酸化膜のひとつを、電極層形成の際のシリコンエッチングの停止層として使用してもよい。

【0157】【第四の実施の形態】本発明の第四の実施の形態であるミラーアレイについて図面を参照しながら説明する。

【0158】図50に示されるように、本実施の形態のミラーアレイ800は、複数の可動ビーム802と、複数の可動ビーム802を片持ちに支持するビーム支持部804と、可動ビーム802の各々の自由端部に設けられた複数のミラー806とを有している。ミラー806は、可動ビーム802の軸に沿って細長い矩形形状を有している。

【0159】可動ビーム802の各々は、図51に示されるように、直列的に接続された複数の単位駆動素子810を有している。単位駆動素子810の各々は、第一の電極支持部812と、第二の電極支持部814と、これら第一の電極支持部812、814を連結するバネ部816とを有している。複数の単位駆動素子810は、可動ビーム802の軸に沿って、同じ向きで並んでいて、バネ部816は、可動ビーム802の軸に直交する方向にたわみ得るたわみバネである。

【0160】第一の電極支持部812は、二つの接地電極822a、822bを含んでおり、第二の電極支持部814は、二つの駆動電極824a、824bを含んでいる。すなわち、単位駆動素子810は、接地電極と駆動電極の対を二つ、すなわち、接地電極822aと駆動電極824aの第一の対と、接地電極822bと駆動電極824bの第二の対とを有している。

【0161】接地電極822a、822bと駆動電極824a、824bは共に複数の歯を有する歯形電極であり、それぞれの対を成している歯形電極は、一方の歯が他方の歯の間に入り込んでおり、各対の歯形電極の歯は共に可動ビーム802の軸に沿って延びている。

【0162】この単位駆動素子810は、第二の実施の形態の第一の単位駆動素子310と実質的に同じものである。

【0163】図52に示されるように、可動ビーム802は、その軸に沿って内部を延びる配線層832を有している。言い換えれば、単位駆動素子810の各々は、第一の電極支持部812と第二の電極支持部814とバネ部816の内部を通る延びる配線層832を有している。各単位駆動素子810の配線層832の内部には、第二の実施の形態と同様に、CMOS回路が形成されている。あるいは、CMOS回路は、第三の実施の形態と同様に、ビーム支持部804の内部に設けられていてもよい。CMOS回路の端子は、図示しない配線によってコンタクトホールを介して、駆動電極822a、822

bと電気的に接続されている。

【0164】また、配線層832の上下面には、可動ビーム802の軸に沿って延びる配線834が形成されており、各単位駆動素子810のCMOS回路や接地電極822a、822bの相互間の電気的接続がとれらる。また、配線834は、第三の実施の形態と同様に、支持部804の内部に形成された配線層まで延びており、その配線層の中を外部回路との電気的接続のために延び、あるいは、その配線層を介して他の可動ビームの配線と電気的に接続されている。

【0165】CMOS回路は、可動ビーム802の任意の単位駆動素子810の駆動電極824a、824bに選択的に電圧を与えるための回路であり、これは、第二の実施の形態において図31を参照して説明したCMOS回路と同じものである。

【0166】このような本実施の形態のミラーアレイ800では、第一の実施の形態の説明から容易に理解できるように、可動ビーム802は、単位駆動素子810の駆動電極824a、824bへの電圧の印加に応じて上下方向に反り、その結果、可動ビーム802の自由端部に設けられているミラー806の角度が変わる。さらに、可動ビーム802の変位量すなわちミラー806の角度変位は、電圧を印加する単位駆動素子810の個数や位置を変更することにより、細かく制御ができる。

【0167】本実施の形態のミラーアレイ800も、第三の実施の形態と同様に、半導体製造プロセスを利用してシリコン基板から製造される。第二の実施の形態と第三の実施の形態の説明から容易に理解できるように、第二の実施の形態において詳しく説明した第一の単位駆動素子310を、形成する複数の可動ビームの各々の軸に沿って複数個ずつ並べて形成するとともに、第三の実施の形態で説明したように、その先端部に可動板を一緒に形成することにより製造することができる。

【0168】これまで、いくつかの実施の形態について図面を参照しながら具体的に説明したが、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で行なわれるすべての実施を含む。

【0169】従って、本発明は以下の各項に記す静電アクチュエータあるいはミラーアレイを含んでいる。

【0170】1. 静電力により駆動される静電アクチュエータであって、可動ビームと、可動ビームを片持ちに支持するビーム支持部とを有しており、可動ビームは、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を連結するバネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している。静電アクチュエータ。

【0171】2. 単位駆動素子は、電極支持部の各々に設けられた二対の電極要素とを有している。第一項に記載の静電アクチュエータ。

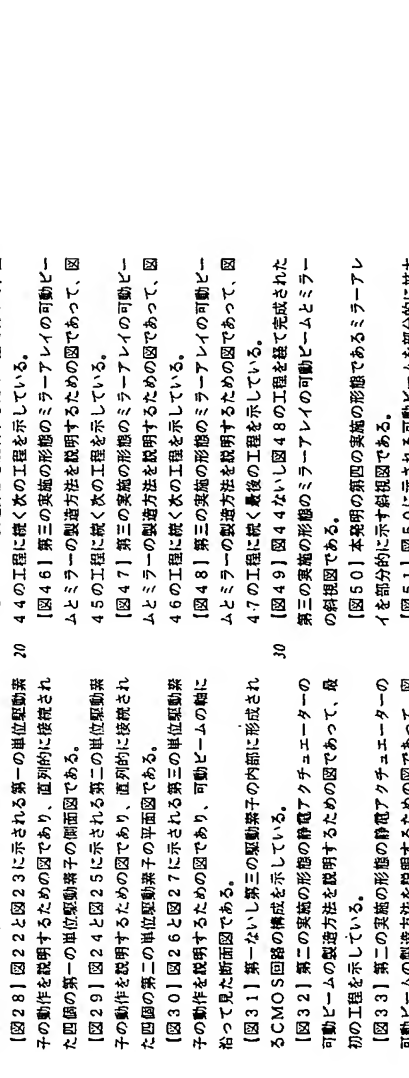
【図 58】図 57 に示される空間光変調器のミラーを駆動するための駆動機構の基本構造を示している。
 【図 59】波長の異なる複数の光を同時に検出するために必要な構成を示している。
 【図 60】最も単純な静電アクチュエータの構成を示している。
 【図 61】図 60 に示される静電アクチュエータの動作を説明するための図である。
 【図 62】大きなストロークを有する既知に知られている静電アクチュエータの斜視図である。
 【図 63】図 62 に示される静電アクチュエータの動作を説明するための図であり、電圧が印加された直後の状態を示している。
 【図 64】図 62 に示される静電アクチュエータの動作を説明するための図であり、図 63 の状態の次に渡れる第一の駆動電極が基板に接触した状態を示している。

【図 39】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 38 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 40】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 39 の工程に続く最後の工程を示している。
 【図 41】図 32 ないし図 40 の工程を経て完成された第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの斜視図である。
 【図 42】本発明の第三の実施の形態であるミラーアレイを部分的に示す斜視図である。
 【図 43】図 42 に示される可動ビームとビーム支持部を拡大して示す図であり、ビーム支持部を部分的に切断して示している。
 【図 44】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、最初の工程を示している。
 【図 45】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、図 44 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 46】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、図 45 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 47】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、図 46 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 48】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、図 47 の工程に続く最後の工程を示している。
 【図 49】図 44 ないし図 48 の工程を経て完成された第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの斜視図である。
 【図 50】本発明の第四の実施の形態であるミラーアレイを部分的に示す斜視図である。
 【図 51】図 50 に示される可動ビームを部分的に拡大して示している。
 【図 52】図 51 に示される可動ビームを部分的に切断して示している。
 【図 53】既に知られている分光器の構成を示している。
 【図 54】図 53 に示される空間光変調器に適用可能な DMD (Digital Micromirror Device) の基本構造を示す断面斜視図である。
 【図 55】図 54 に示される DMD の動作原理を説明するための図である。
 【図 56】分光装置において、プリズムによって投影される光に対する空間光変調器の好ましい配置関係を示している。
 【図 57】散乱光の低減のために、ミラーが短冊状の細長いミラーに変更された空間光変調器を示している。

37

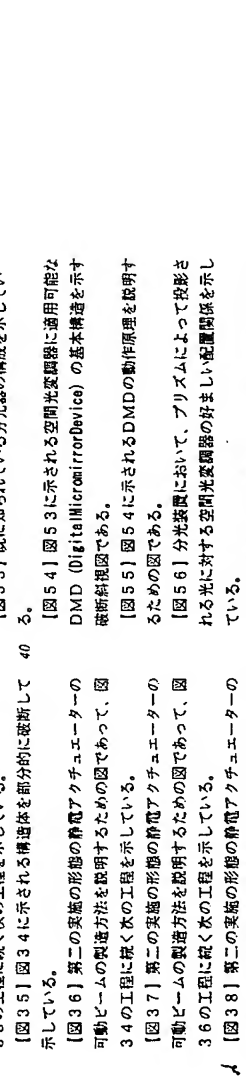
【図 65】図 62 に示される静電アクチュエータの動作を説明するための図であり、図 64 の状態の次に渡れる第二の駆動電極が基板に接触した状態を示している。
 【図 66】図 62 に示される静電アクチュエータの動作を説明するための図であり、すべての駆動電極が基板に接触した状態を示している。
 【符号の説明】
 102 可動ビーム
 104 ビーム支持部
 110 単位駆動素子
 112 第一の電極支持部
 114 第二の電極支持部
 116 パネ部
 122a、122b 接地電極
 124a、124b 駆動電極

【図 27】図 26 に示される第三の単位駆動素子の部分断面斜視図である。
 【図 28】図 22 と図 23 に示される第一の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、直列的に接続された四つの第一の単位駆動素子の側面図である。
 【図 29】図 24 と図 25 に示される第二の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、直列的に接続された四つの第二の単位駆動素子の平面図である。
 【図 30】図 26 と図 27 に示される第三の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、可動ビームの軸に沿って見た断面図である。
 【図 31】第一ないし第三の駆動素子の内部に形成された CMOS 回路の構成を示している。
 【図 32】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、最初の工程を示している。
 【図 33】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 32 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 34】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 33 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 35】図 34 に示される構造体を部分的に切断して示している。
 【図 36】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 34 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 37】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 36 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 38】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 37 の工程に続く次の工程を示している。

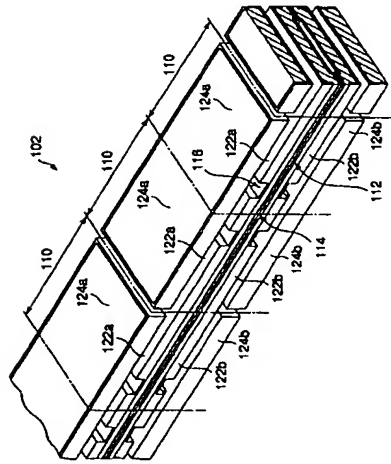


【図 54】図 53 に示される空間光変調器に適用可能な DMD (Digital Micromirror Device) の基本構造を示す断面斜視図である。
 【図 55】図 54 に示される DMD の動作原理を説明するための図である。
 【図 56】分光装置において、プリズムによって投影される光に対する空間光変調器の好ましい配置関係を示している。
 【図 57】散乱光の低減のために、ミラーが短冊状の細長いミラーに変更された空間光変調器を示している。

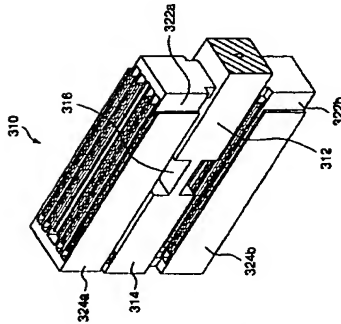
【図 36】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 34 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 37】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 36 の工程に続く次の工程を示している。
 【図 38】第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 37 の工程に続く次の工程を示している。



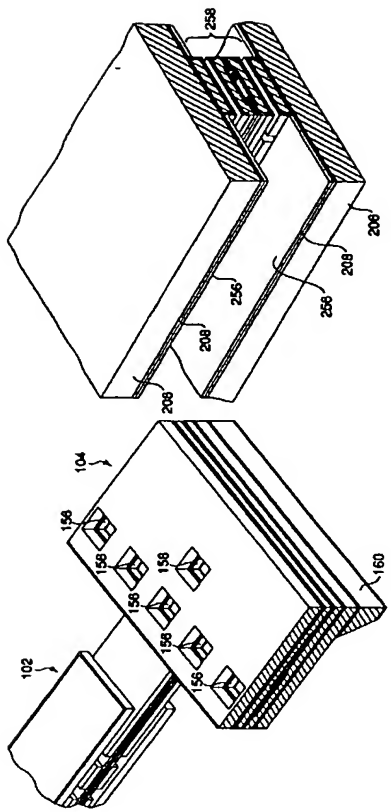
【図3】



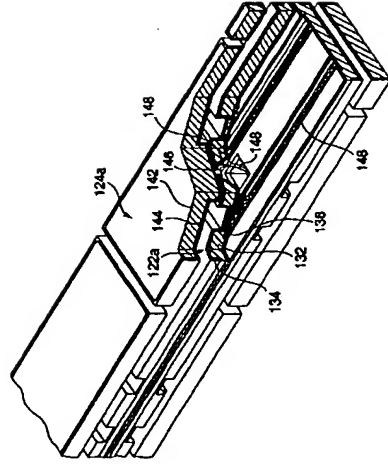
【図22】



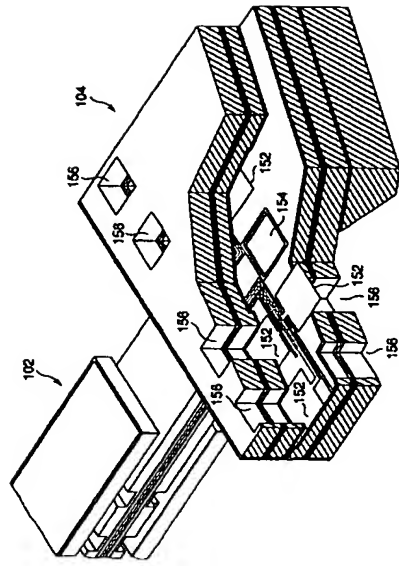
【図15】



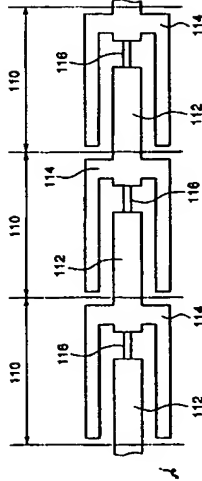
【図4】



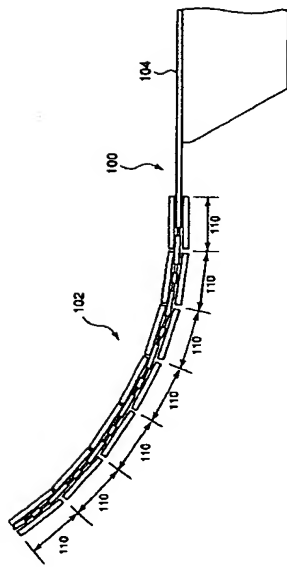
【図6】



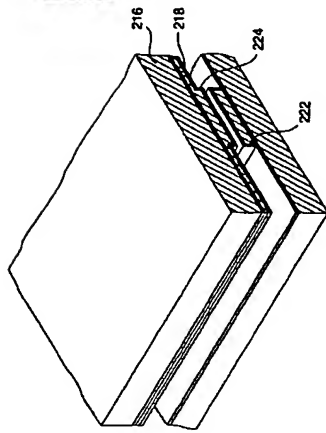
【図20】



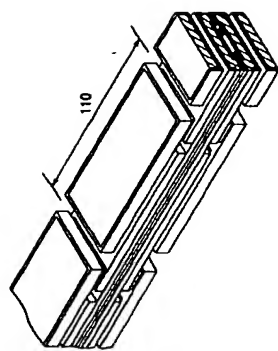
【图7】



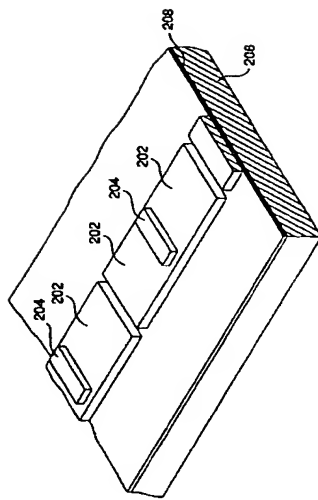
【圖10】



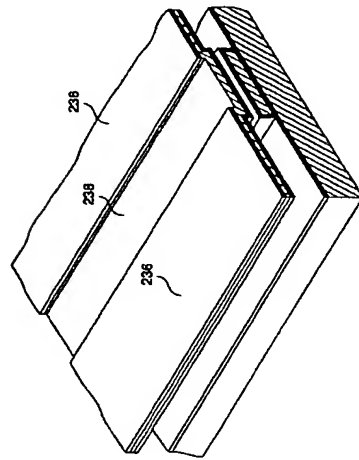
【图 19】



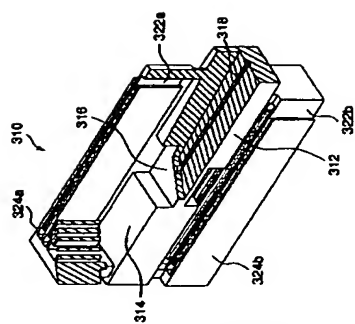
【图8】



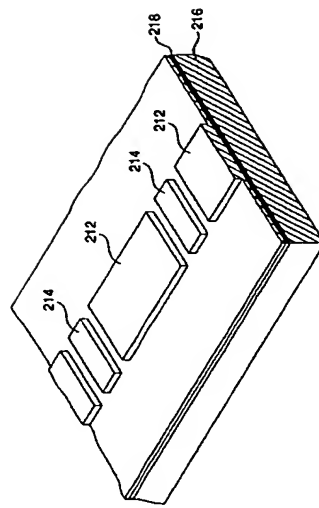
【11】



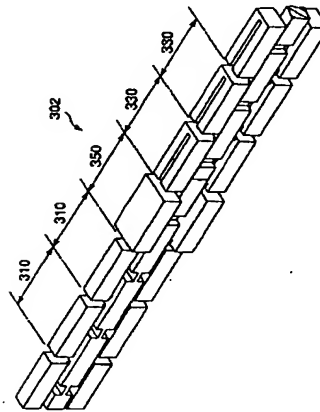
[23]



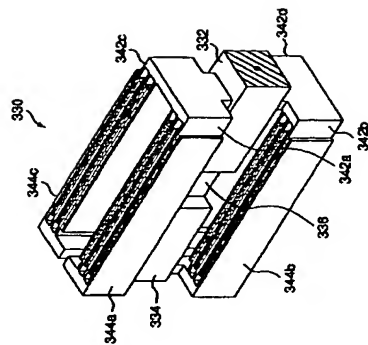
【69】



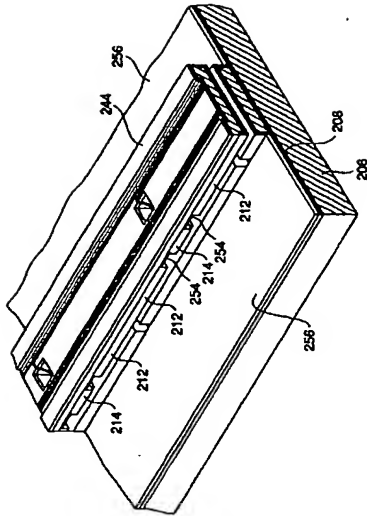
[21]



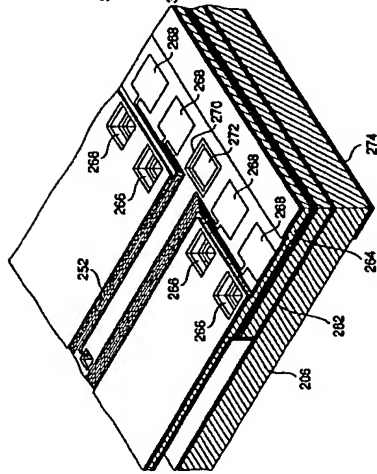
【图24】



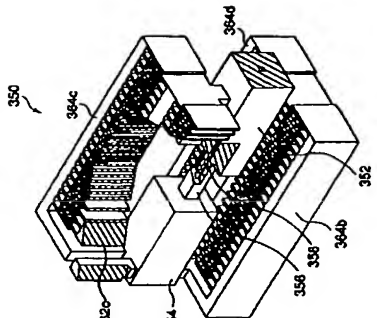
【図14】



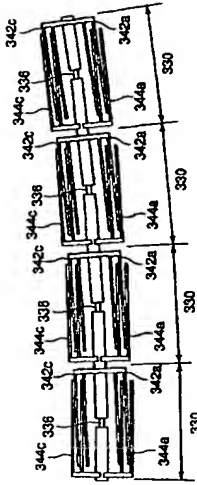
【図16】



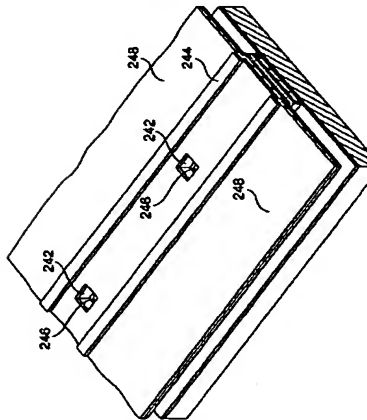
【図27】



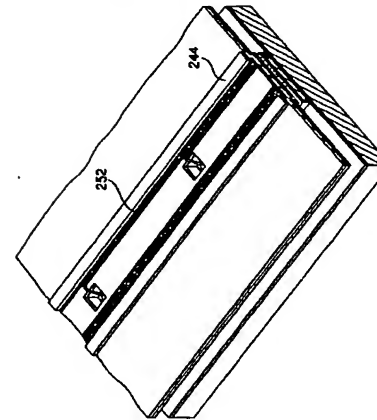
【図29】



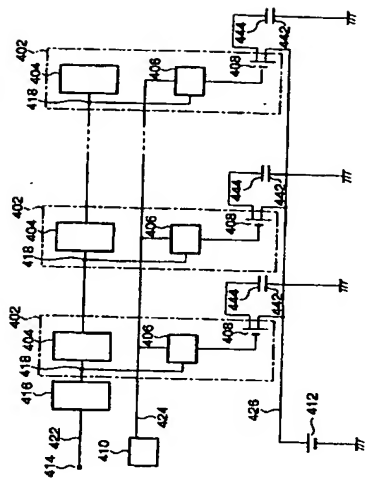
【図12】



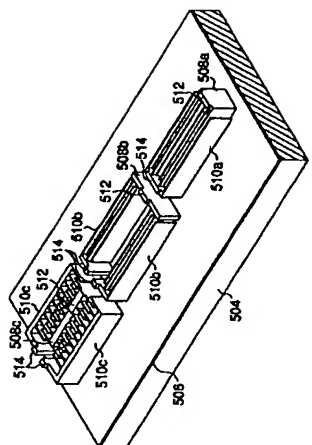
【図13】



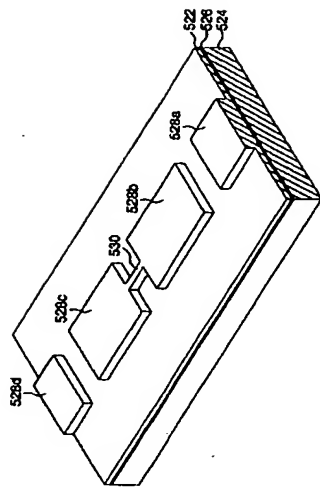
【図 3 1】



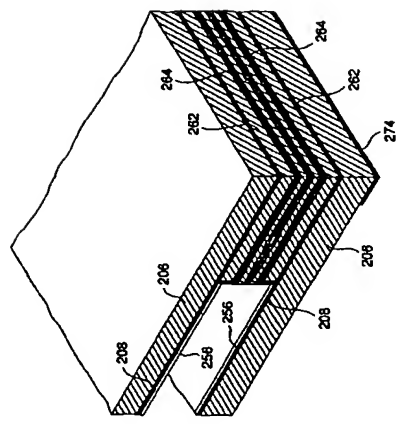
【図 3 2】



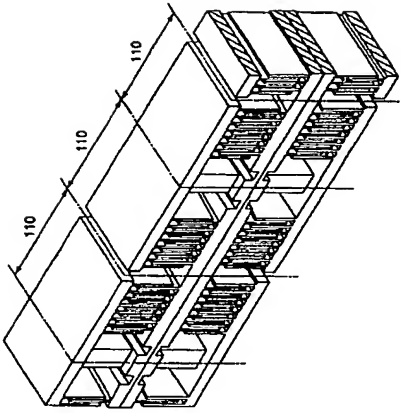
【図 3 3】



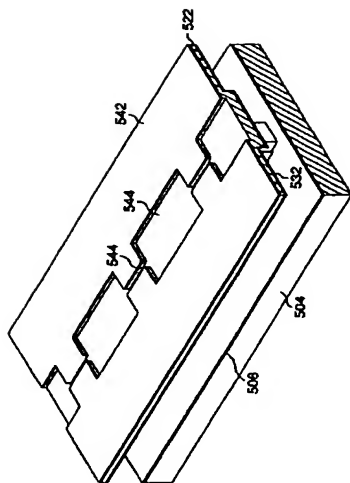
【図 1 7】



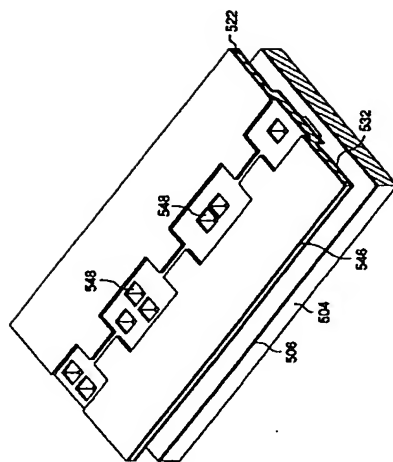
【図 1 8】



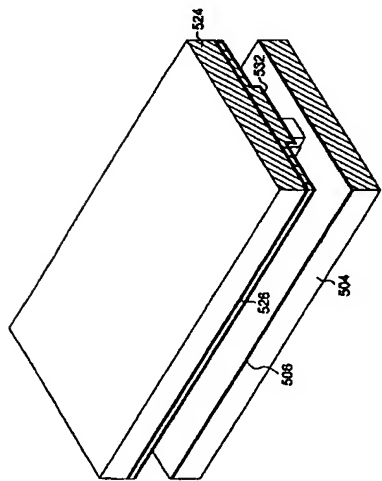
【図 3 6】



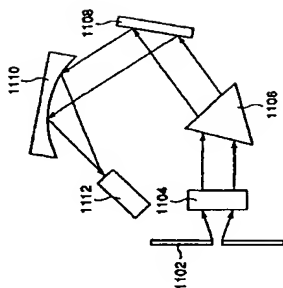
【図 3 7】



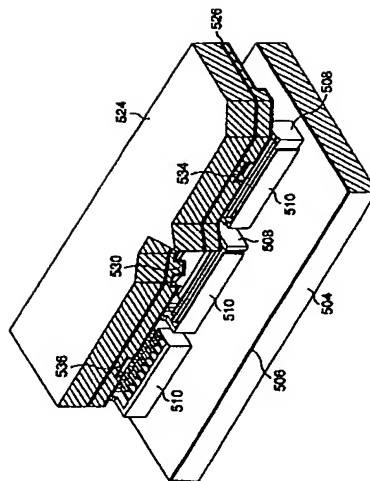
【図 3 4】



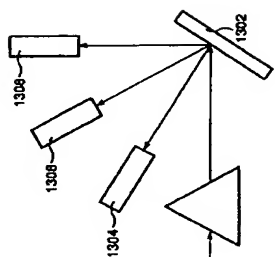
【図 5 3】



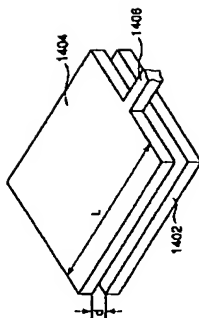
【図 3 5】



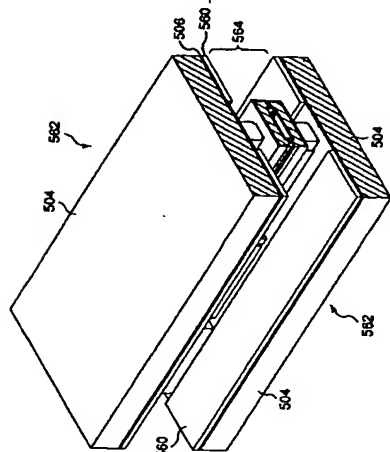
[図59]



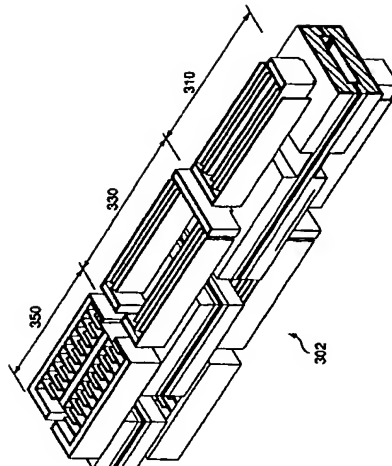
[図60]



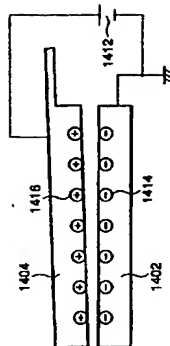
[図40]



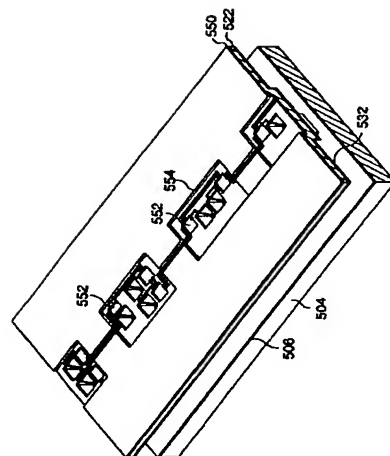
[図41]



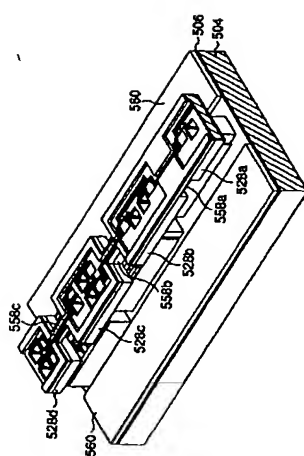
[図61]



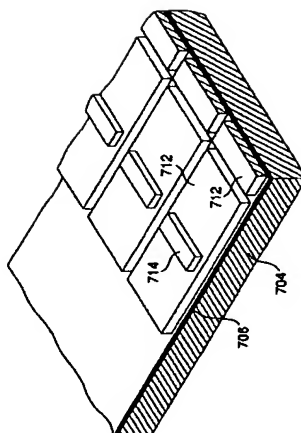
[図38]



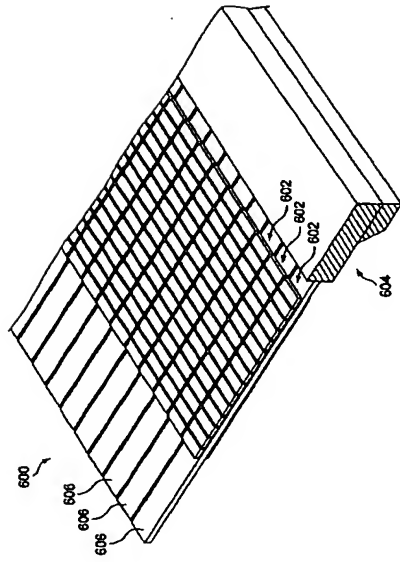
[図39]



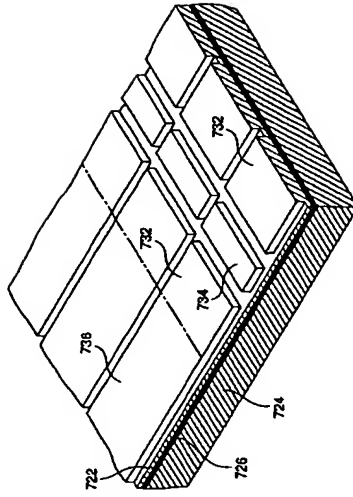
[図44]



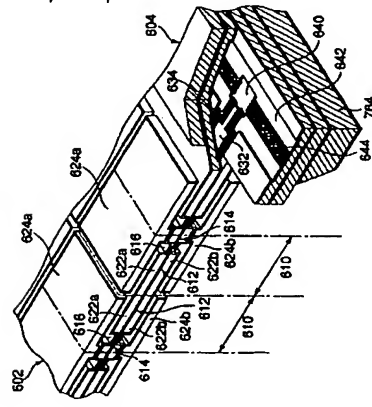
[42]



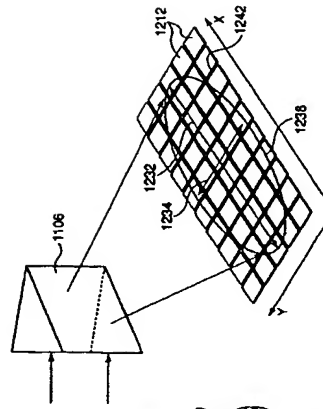
【图45】



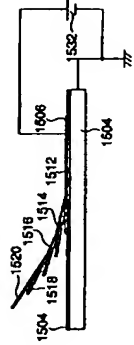
【43】



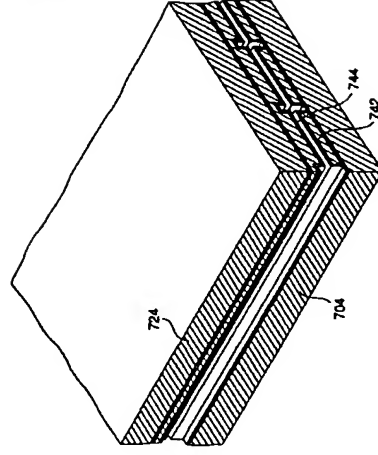
【图56】



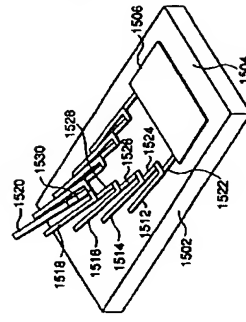
【图64】



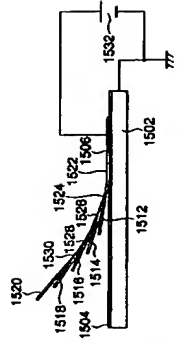
[46]



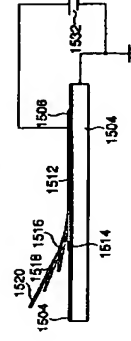
【图62】



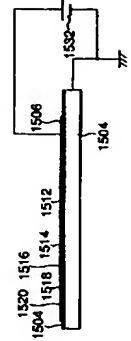
【63】



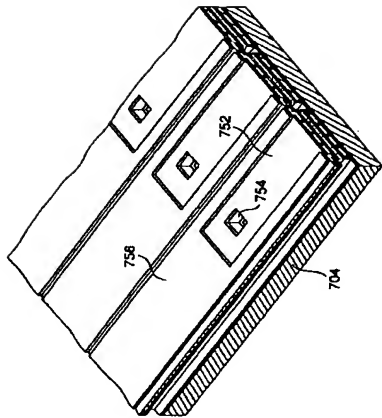
【65】



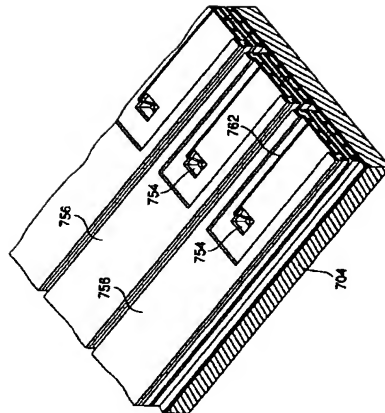
【图 66】



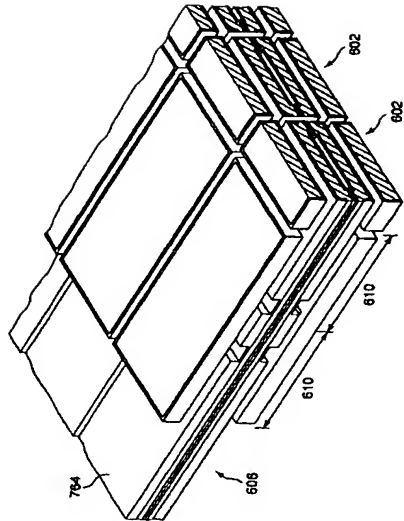
【図 47】



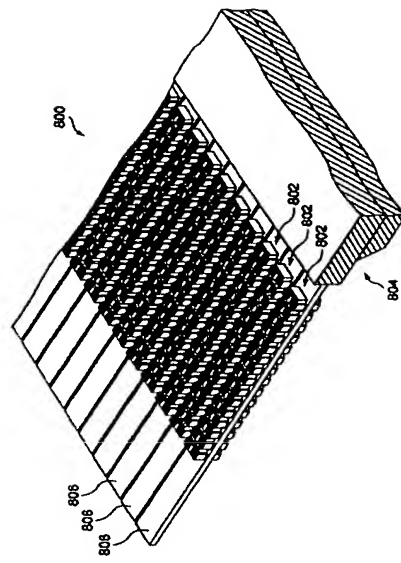
【図 48】



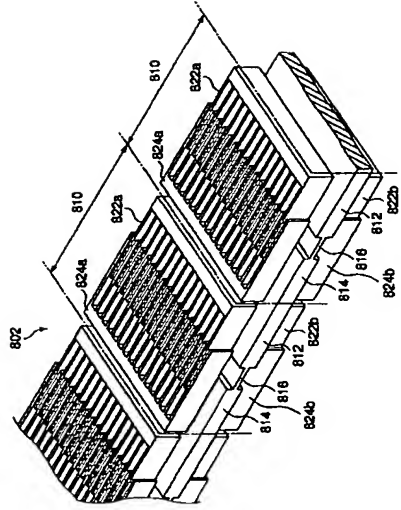
【図 49】



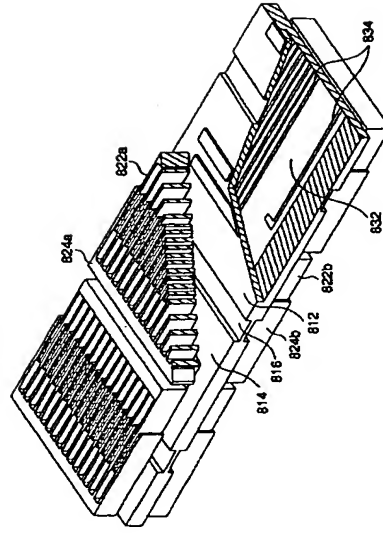
【図 50】



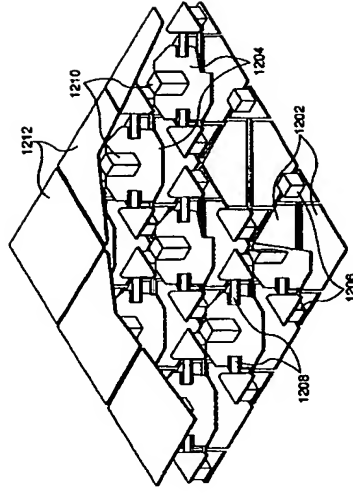
【图51】



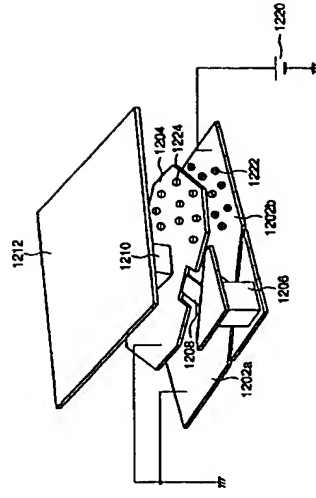
【图52】



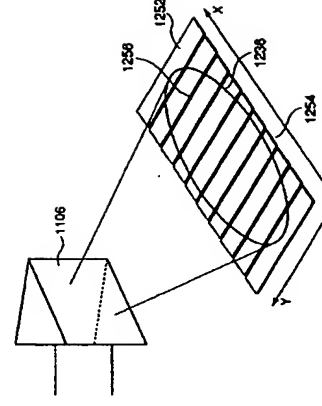
【54】



【55】



【57】



【図 5 8】

